

*В.А. Звонов, д-р техн. наук, А.П. Марченко, д-р техн. наук,
И.В. Парсаданов, д-р техн. наук, А.П. Поливянчук, канд. техн. наук*

ОЦЕНКА ВЫБРОСА ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ С ОТРАБОТАВШИМИ ГАЗАМИ АВТОТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ

Введение

Одной из составляющих комплекса мер по обеспечению экологической безопасности дизелей является реализация решений по снижению и контроль массового выброса твердых частиц с отработавшими газами (ОГ). Твердые частицы (ТЧ), представляющие собой смесь сажи, несгоревших углеводородов, сульфатов и других включений, вслед за оксидами азота занимают второе место по агрессивности в выбросах ОГ дизеля [1,2].

Для измерения массового выброса ТЧ с ОГ дизелей необходимы специальные дорогостоящие измерительные системы – разбавляющие туннели, которые в Украине в настоящее время не производятся и не применяются. Вместе с тем, отечественное двигателе- и машиностроение испытывают острую потребность в данном оборудовании, поскольку стандартами Украины, гармонизированными с международными стандартами, предусматривается нормирование массовых выбросов ТЧ дизелей автомобилей и сельскохозяйственных машин.

На протяжении последних 10-ти лет в Восточноукраинском национальном университете (ВНУ) им. В. Даля проводились работы по созданию разбавляющих туннелей на основе мирового опыта их применения. Результатом данных работ стало изготовление опытного образца микротуннеля МКТ-2, с помощью которого на кафедре ДВС Национального технического университета «ХПИ» дана оценка выброса ТЧ с ОГ автотракторного дизеля 4ЧН12/14 (СМД-23).

Постановка задачи

Основной целью исследований являлась экспе-

риментальная отработка гравиметрической процедуры измерений массовых выбросов ТЧ дизеля микротуннелем МКТ-2, в соответствии с международными нормативно-правовыми документами [3-5]. Достижение указанной цели обеспечивалось путем решения следующих задач:

- монтаж системы контроля массовых выбросов ТЧ на исследовательском стенде дизеля в соответствии с установленными требованиями;
- проведение стендовых испытаний с замером массовых выбросов ТЧ на отдельных режимах работы двигателя;
- оценка массового выброса ТЧ по Европейскому 13-ступенчатому циклу.

Методика измерений выбросов ТЧ

Микротуннель МКТ-2 – полуавтоматизированная измерительная система, спроектированная в соответствии с требованиями международных стандартов. Часть ОГ с массовым расходом G_{exh}^t отбирается из выпускной системы дизеля и подается в разбавляющий туннель, где происходит их смешивание с атмосферным воздухом (рис. 1), что обеспечивает имитацию естественного процесса разбавления ОГ, выбрасываемых из выпускной трубы дизеля в атмосферу. Из туннеля поток разбавленных ОГ с массовым расходом G_{sam} через один из шаровых кранов поступает в байпасную магистраль, либо в рабочий канал, в котором установлен патрон с двумя фильтрами (основным и вспомогательным). Шаровые краны К1 и К2 всегда находятся в противоположных состояниях: когда один открыт – другой закрыт и наоборот.

При подготовке пробы к анализу открыт кран K1 и разбавленные ОГ протекают через байпасную магистраль. С помощью дросселя Д регулируется давление в магистрали так, чтобы в момент переключения кранов не возникало гидравлического удара. При выполнении процедуры отбора проб ТЧ открыт кран K2 и вся проба разбавленных ОГ протекает через фильтры. При этом фиксируется продолжительность данной процедуры τ_{sam} . Коэффициент разбавления ОГ q , равный отношению массовых расходов G_{sam} и G_{exh}^d , в ходе испытаний устанавливается таким, чтобы температура пробы перед фильтрами t_f не превышала 52 °С.

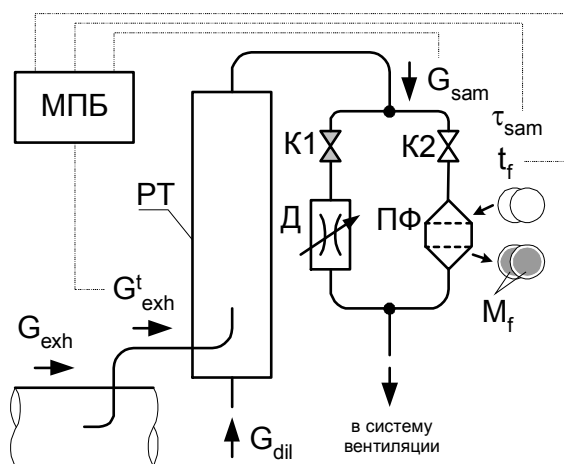


Рис. 1. Принципиальная схема микротуннеля МКТ-2: МПБ – микропроцессорный блок; РТ – разбавляющий туннель; K1, K2 – шаровые краны; Д – дроссель; ПФ – патрон с фильтрами для отбора ТЧ.

После завершения испытаний измеряется масса ТЧ M_f , как прирост массы рабочих фильтров за время испытаний. Для контроля параметров G_{sam} , G_{exh}^d , τ_{sam} , t_f и управления шаровыми кранами K1 и K2 используется микропроцессорный блок. В ходе испытаний все указанные величины протоколируются и используются при вычислениях следующих показателей:

а) массовых выбросов ТЧ на отдельных режимах работы дизеля – PT_{massi} :

$$PT_{massi} = \frac{M_{fi}}{M_{sami}} \cdot q_i \cdot G_{exhi}, \text{ г/ч,}$$

где i – индекс режима; $M_{sami} = G_{sami} \cdot \tau_{sami}$ – масса пробы разбавленных ОГ, прошедшей через фильтры на i -м режиме, г; G_{exhi} – массовый расход ОГ в выпускной системе дизеля на i -м режиме, г/ч;

б) удельных выбросов ТЧ на отдельных режимах работы дизеля – $\overline{PT}_{massi}$:

$$\overline{PT}_{massi} = \frac{PT_{massi}}{N_{ei}}, \text{ г/(кВтч),}$$

где N_{ei} – эффективная мощность дизеля на i -м режиме, кВт.

Если двигатель испытывается по 13-ступенчатому, 8-ступенчатому или другому циклу, то рассчитывают с массовый выброс ТЧ за цикл испытаний:

$$PT = \frac{PT_{mass}^{test}}{N_e^{test}}, \text{ г/(кВтч),}$$

$$PT_{mass}^{test} = \sum_{i=1}^n (PT_{massi} \cdot WF_i), \text{ г/ч,}$$

$$N_e^{test} = \sum_{i=1}^n (N_{ei} \cdot WF_i), \text{ кВт,}$$

где PT_{mass}^{test} и N_e^{test} – средние за цикл массовый выброс ТЧ и эффективная мощность дизеля; n – число режимов испытательного цикла; WF_i – весовые факторы режимов испытательного цикла.

Результаты исследований

В ходе подготовки и проведения исследований был произведен монтаж МКТ-2 на испытательном стенде дизеля 4ЧН12/14 (рис. 2.). Пробоотборник ТЧ расположен на осевой линии прямолинейного участка выпускной трубы и направлен навстречу потоку

ОГ. Расстояния до ближайших гидравлических сопротивлений 6 диаметров трубопровода перед пробоотборником ТЧ и 3 – за ним.

Измерения массовых и удельных выбросов ТЧ проведены на режимах работы, характеризующихся 3-частотами вращения коленчатого вала дизеля: 1000, 1500 и 2000 мин⁻¹ и 6-ю значениями нагрузки на каждой из частот вращения: 0, 10, 25, 50, 75 и 100 %.



Рис. 2. Монтаж МКТ-2 на тормозном стенде дизеля СМД-23

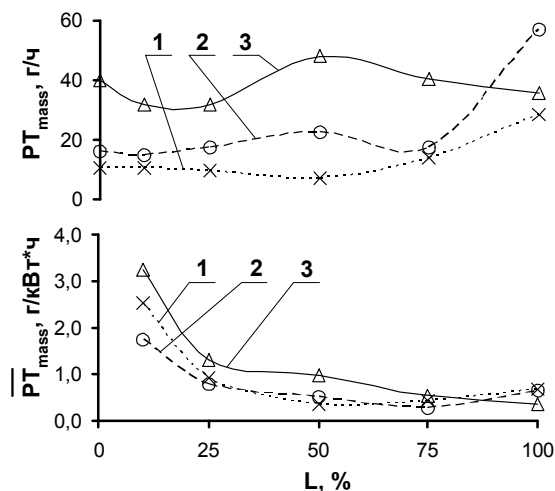


Рис. 3. Влияние нагрузки на массовые и удельные выбросы ТЧ: 1 - $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$; 2 - $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$; 3 - $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$.

Влияние нагрузки на выброс ТЧ на исследованных частотах вращения коленчатого вала дизеля показано на рис.3.

По результатам испытаний в соответствии с Европейским 13-ступенчатым циклом был определен удельный массовый выброс ТЧ с ОГ дизеля 4ЧН12/14 (СМД-23), значение которого составило 0,639 г/(кВтч).

Фильтры с отобранными частицами (рис. 4) могут использоваться для дальнейших исследований структуры ТЧ [6].

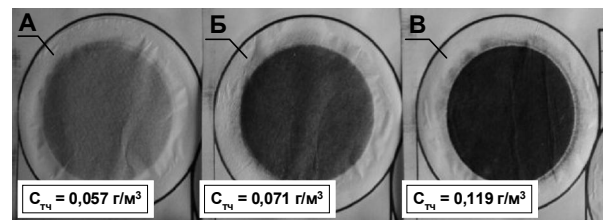


Рис. 4. Фильтры с ТЧ

Выводы

1. Впервые создан и прошел экспериментальную проверку отечественный образец системы контроля массовых выбросов ТЧ с ОГ дизелей - микротуннель МКТ-2, соответствующий требованиям международных стандартов.

2. С помощью МКТ-2 дана оценка массового выброса ТЧ с отработавшими газами дизеля 4ЧН12/14 (СМД-23), что подтвердило практическую пригодность микротуннеля для проведения исследовательских и сертификационных испытаний

Список литературы:

1. Экология автомобильных двигателей внутреннего сгорания: Уч. пособие / В.А. Звонов, Л.С. Заиграев, В.И. Черных, А.В. Козлов / Под ред. Звонова В.А. – Луганск: изд-во СНУ им. В. Даля, 2004. - 268 с.
2. Парсаданов И.В. Повышение качества и конкурентоспособности дизелей на основе ком-

плексного топливно-экологического критерия: Монография. – Харьков: Изд. Центр НТУ «ХПИ», 2003. – 244 с. 3. Regulation № 49. Revision 2. Uniform provision concerning the approval of compression ignition (C.I.) engines and vehicles equipped with C.I. engines with the regard to the emission of pollutants by the engine. Geneva, 1992. – 114 p. 4. Regulation № 96. Uniform provision concerning the approval of compression ignition (C.I.) engines to be installed in agricultural and

forestry tractors with regard to the emissions of pollutants by the engine. Geneva, 1995. – 109 p. 5. ISO 8178. Reciprocating internal combustion engines – Exhaust emission measurement – Part 1: Test – bed measurement of gaseous and particulate exhaust emissions, 1996. – 94 p. 6. Звонов В.А., Корнилов Г.С., Козлов В.А., Симонова Е.А. Оценка и контроль выбросов дисперсных частиц с отработавшими газами дизелей. – М.: Издательство Прима-Пресс-М, 2005. – 312 с.

УДК 621.43

Н.К. Шокотов, д-р техн. наук, Е.И. Янтовский, д-р техн. наук

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ХИМИЧЕСКИ ЧИСТОГО АВТОМОБИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ БЕЗ НАДУВА НА РАЗЛИЧНЫХ ТОПЛИВАХ

Рассматривается эффективность химически чистого (безвыбросного) автомобильного двигателя без наддува при его работе на бензине, пропане и метане, в котором осуществлено внутреннее форсирование путем изменения мольной доли кислорода в окислителе.

На рис.1а показана предлагаемая схема химически чистой силовой установки, состоящей из поршневого двигателя (VM), системы образования исходного заряда и расположенной между ними системы кислородоснабжения [1, 2, 3, 4].

В качестве VM принят разработанный фирмой Volkswagen и ее филиалами в США [5] рядный, четырехтактный ($i = 4$), четырехцилиндровый ($z = 4$) с соотношением хода поршня к диаметру цилиндра $S/D = 68,4/79,5$ двигатель, который при степени

сжатия $\varepsilon = 8,3$ и частоте вращения коленчатого вала $n = 5000 \text{ мин}^{-1}$ развивает на стенде эффективную мощность $N_e = 48 \text{ кВт}$.

Система образования исходного заряда состоит из доохладителя потоков отработавшего газа и кислорода $M_{28} = M_{O_2}(R4)$, где M''_{CO_2} , M''_{H_2O} , M'''_{CO_2} – соответственно образующиеся при горении диоксид углерода и пары воды, а также транзитный диоксид углерода; водного сепаратора (WS), отводящего водный конденсат; разделителя потока сухого диоксида углерода (AB) на $M_9 = M''_{CO_2}$ и $M_7 = M'''_{CO_2}$, смесителя исходных элементов заряда (M_i), т.е. суммы $M_1 = M_s = M_B + M_{O_2} + M'''_{CO_2}$, где M_B – поток топлива, а $M_{Ox} = M_{O_2} + M'''_{CO_2}$ – поток окислителя.